

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PLACAS FOTOVOLTAICAS (PROJETO SEGUE O SOL)

Energy Efficiency on Photovoltaic Plates (Project Follows the Sun)

David dos Passos
Fredimar Otto
Leilson Lima Maciel de Castro
Marco Antônio Roncada
Rodrigo Hoepers
Julia Grasiela Busarello Wolf¹

Resumo: Ocorre, atualmente, um aumento no interesse por sistemas de geração de energia renováveis, motivado pelos crescentes problemas ambientais, relacionados às formas tradicionais de geração de energia. Todavia, o uso de sistemas fotovoltaicos ainda não é amplamente utilizado devido ao seu alto custo e baixo rendimento. Uma maneira de melhorar este rendimento é fazer com que as placas fotovoltaicas destes sistemas recebam sempre a maior incidência de luz possível, o que não ocorre num sistema convencional, pois a placa é instalada numa posição fixa e o sol se movimenta em torno dela, de leste a oeste durante o dia e, de norte a sul durante o ano. Assim, este projeto tem por finalidade desenvolver um sistema de automação para melhorar a incidência de luz sobre a placa. Foi montado um protótipo em pequena escala, a fim de verificar a funcionalidade do sistema. Este, posteriormente, poderá ser utilizado na implementação de qualquer outro sistema com dimensões variadas. Pretende-se, com a finalização deste projeto, torná-lo economicamente acessível e, desta maneira, contribuir com o desenvolvimento sustentável do setor energético brasileiro, melhorando o rendimento dos sistemas fotovoltaicos.

Palavras-chave: Placas fotovoltaicas. Segue sol. Rastreador solar.

Abstract: There is now an increase in interest in renewable energy generation systems, motivated by the growing environmental problems related to traditional forms of energy generation. However, the use of photovoltaic systems is still not widely used due to its high cost and low yield. One way to improve this performance is to make the photovoltaic panels of these systems always receive the highest possible incidence of light, which in a conventional system does not happen, because the board is installed in a fixed position and the sun moves around it, east To the west during the day and from north to the south during the year. Therefore, this project aims to develop an automation system to improve the incidence of light on the board. A prototype will be mounted on a small scale to verify the functionality of the system. This can later be used in the implementation of any other system with varying dimensions. The aim of this project is to make it economically accessible and thus contribute to the sustainable development of the Brazilian energy sector, improving the efficiency of photovoltaic systems.

Keywords: Photovoltaic panels. Follows sun. Solar tracker.

Introdução

Mundialmente, há um constante crescimento populacional que, conseqüentemente, gera um crescimento industrial. Este crescimento induz ao desmatamento e à poluição, afetando o planeta devido ao chamado "aquecimento global" que, por sua vez, interfere nas questões climáticas mundiais. Portanto, o clima está cada vez mais irregular, com chuvas mal distribuídas.

¹ Centro Universitário Leonardo Da Vinci – UNIASSELVI – Rodovia BR 470 – Km 71 – nº 1.040 – Bairro Benedito – Caixa Postal 191 – 89130-000 – Indaial/SC. Fone (47) 3281-9000 – Fax (47)3281-9090 *E-mail:* david.a.dospassos@gmail.com; fredimarotto@gmail.com; leilson753@gmail.com; roncada28@hotmail.com; rodrigo.hprs@gmail.com; fredimarotto@gmail.com; wolff1980@gmail.com.

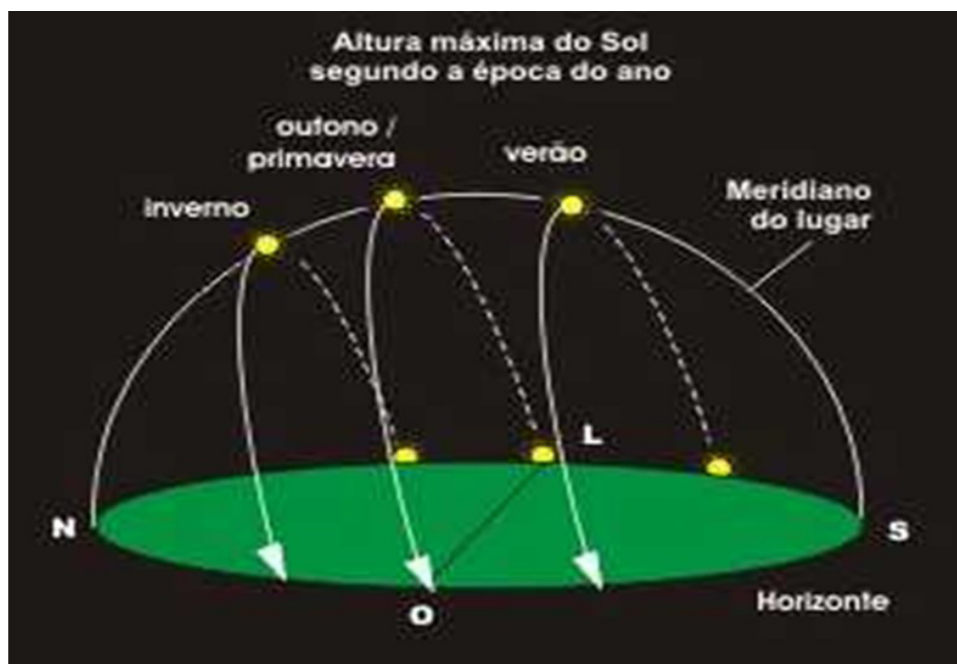
Isso faz com que o sistema de geração de energia brasileiro, baseado em hidrelétricas, até o momento seja visto como uma das mais promissoras fontes de energia renováveis devido ao seu ótimo custo/benefício. Têm-se duas questões. A falta de chuvas, que impede a geração de energia, e a construção de novas usinas hidrelétricas, que agravam ainda mais as situações climáticas devido às grandes inundações geradas.

Por estes motivos, investimentos em sistemas de geração de energia elétrica, que causam pouco impacto ambiental, começam a ter cada vez mais destaque. Segundo Lopez (2012, p. 21), “a energia solar é a fonte de energia menos poluente e menos finita conhecida até o momento”. No entanto, os sistemas de geração de energia por placas fotovoltaicas ainda não são muito utilizados devido ao seu alto custo e baixo rendimento. Novamente, de acordo com Lopez (2012, p. 40), “os painéis fotovoltaicos trabalham melhor quando os raios do sol incidem perpendicularmente (90°) em relação às células fotovoltaicas”. Os painéis dos sistemas convencionais são instalados normalmente em uma posição fixa predeterminada para receber uma maior incidência de luz possível durante o ano todo. Entretanto, o sol muda de posição de leste a oeste durante o dia e, também, de norte a sul durante o ano.

Na Figura 1, pode-se verificar esta movimentação do sol. Dessa maneira, se a placa for posicionada sempre na direção do sol o rendimento das placas poderá ser aumentado significativamente. O objetivo deste trabalho é justamente desenvolver um sistema de automação para direcionar a placa ao local de maior incidência de luz. O projeto de automação foi desenvolvido em uma plataforma Arduino®, movimentando uma pequena placa fotovoltaica de 20 W de potência.

Para melhor compreensão deste trabalho serão apresentadas, nos próximos tópicos, algumas definições importantes relacionadas ao projeto e, após, será descrita a metodologia do trabalho. Para finalizar, serão analisados os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto, cruzando informações das referências com as deste trabalho.

Figura 1. Movimentação do sol durante o ano



Fonte: Disponível em: <<http://www.ghtc.usp.br/server/Sites-HF/Paula/sun1.html>>. Acesso em: 20 maio 2017.

Referencial teórico

Inicialmente, para melhorar a compreensão deste trabalho, serão feitas diversas definições relacionadas ao projeto, como também serão expostos alguns exemplos práticos semelhantes já implantados por outras entidades e, ainda, alguns dados técnicos relacionados a instalações de sistemas de geração solar fotovoltaica.

Sistemas de geração de energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida com a conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, consiste no aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz (LOPEZ, 2012, p. 85).

Existem diversos tipos de materiais semicondutores utilizados na confecção de células fotovoltaicas, cada um com suas características particulares. O semicondutor mais utilizado atualmente é o silício. O silício, de acordo com o seu processo de fabricação, pode ser monocristalino, policristalino ou amorfo. Neste trabalho, foi aplicada apenas a célula de silício monocristalino.

Células de silício monocristalino

Estas células são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino (cristal uniforme e único, com estrutura homogênea) produzidas em fornos especiais. As barras são cortadas em forma de pastilhas finas com, aproximadamente, 0,3 mm de espessura. A sua eficiência na conversão da luz solar em eletricidade varia de 15% a 19%. Estão entre as mais eficientes e também as mais caras no mercado devido ao seu processo de fabricação e alto teor de pureza do silício.

Aplicações da tecnologia fotovoltaica

De acordo com Fadigas (2012), as aplicações de um sistema fotovoltaico podem ser divididas em dois grupos básicos: sistemas autônomos e sistemas conectados à rede elétrica.

Sistema autônomos

Os sistemas autônomos são divididos em: sistemas autônomos isolados e sistemas autônomos híbridos.

Os sistemas autônomos isolados consistem em sistemas puramente fotovoltaicos, não conectados à rede elétrica de distribuição. Estes podem ser configurados de diversas formas, de acordo com cada aplicação (com ou sem acumulador, com carga de corrente alternada, com carga de corrente contínua ou até mesmo as duas num único sistema).

Os sistemas autônomos híbridos são sistemas isolados da rede elétrica e existem mais de uma forma de geração de energia, como por exemplo, gerador diesel, turbinas eólicas e módulos fotovoltaicos.

Sistemas conectados à rede

De acordo com Pinho e Galdino (2014, p. 289):

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) dispensam o uso de acumuladores, pois a energia por eles produzida pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada diretamente na rede elétrica convencional, para ser consumida pelas unidades consumidoras conectadas ao sistema de distribuição. Estes sistemas são basicamente de um único tipo e são aqueles em que o gerador fotovoltaico representa uma fonte complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado.

Exemplos de outros sistemas semelhantes

Neste tópico serão expostos vários sistemas semelhantes já aplicados em outros estudos ou por outras entidades. O propósito desta exposição é dar credibilidade ao projeto e mostrar que já existem testes práticos comprovando o aumento de rendimento do sistema fotovoltaico.

- A Unesp (Universidade Estadual Paulista) projetou um sistema de captação de energia solar que se movimenta de acordo com a mudança de posição do sol, gerando até 53% a mais de energia do que os painéis convencionais. Conforme o autor do projeto, o professor Alceu Ferreira Alves, da Faculdade de Engenharia de Bauru: “Há um dispositivo computacional calculando a posição do Sol e movimentando motores de passo para que o painel esteja sempre em posição perpendicular à incidência dos raios solares, captando assim a maior quantidade possível de radiação solar que chega à sua superfície e convertendo-a em energia elétrica”.
- Estudantes do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), nos Estados Unidos, desenvolveram um sistema de movimentação para painéis solares que faz com que os painéis acompanhem o movimento do Sol sem a necessidade de motores e nem de sistemas de controle. Segundo testes feitos pelos estudantes, os painéis que acompanham o Sol chegam a ser 38% mais eficientes do que os painéis solares fixos.
- A CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito) possui um projeto chamado de Casa Solar Eficiente (CSE). É uma casa pré-fabricada, autossustentada por fontes de energia solar e eólica. O ganho de aproveitamento da irradiação solar dessa estrutura móvel com rastreamento solar é da ordem de 15 a 20%.

Custo de instalação de um sistema de geração fotovoltaico

No site <<http://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>>, é possível fazer uma simulação para obter dados de instalação de um sistema de geração solar fotovoltaica. Neste *site*, há um campo onde se preenche a localização da instalação pretendida e o valor de seu consumo mensal, em kWh. Clicando no campo “calcular”, é gerado uma ficha técnica do seu gerador. Nesta, pode-se verificar vários dados do sistema. Para análise posterior neste projeto, fez-se duas simulações que podem ser visualizadas nas Tabelas 1 e 2 a seguir:

Quadro 1. Ficha técnica de um Sistema Gerador para 160 kWh/mês

FICHA TÉCNICA DO SEU SISTEMA GERADOR		
Para atender a sua demanda de eletricidade, o seu sistema gerador de energia solar fotovoltaica precisa ter uma potência de:	1,5	kWp. (ou potência instalada)
O preço médio de um gerador fotovoltaico deste tamanho varia no mercado de:	R\$ 12.750,00	até R\$ 14.700,00
Quantidade de placas fotovoltaicas:	6	de 260 Watts
Produção anual de energia	1920	kWh/ano aproximadamente
Área mínima ocupada pelo sistema:	11,96	metros quadrados aprox.
Peso médio por metro quadrado:	15	kilograma / metro quadrado
Geração mensal de energia:	160	kWh/mes aproximadamente

Fonte: Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>>. Acesso em: 25 maio 2017.

Quadro 2. Ficha técnica de um Sistema Gerador para 250 kWh/mês

FICHA TÉCNICA DO SEU SISTEMA GERADOR		
Para atender a sua demanda de eletricidade, o seu sistema gerador de energia solar fotovoltaica precisa ter uma potência de:	2,34	kWp. (ou potência instalada)
O preço médio de um gerador fotovoltaico deste tamanho varia no mercado de:	R\$ 14.274,00	até R\$ 17.550,00
Quantidade de placas fotovoltaicas:	9	de 260 Watts
Produção anual de energia	3000	kWh/ano aproximadamente
Área mínima ocupada pelo sistema:	18,69	metros quadrados aprox.
Peso médio por metro quadrado:	15	kilograma / metro quadrado
Geração mensal de energia:	250	kWh/mes aproximadamente

Fonte: Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>>. Acesso em: 25 maio 2017.

Justificativa

Apresentaram-se anteriormente diversos exemplos de sistemas semelhantes, em que os autores relataram um ganho de rendimento que variam de 15 a 53% entre os vários projetos. Sendo o ganho de rendimento certo, é preciso que estes sistemas cheguem em maior número às instalações de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, para que este aumento de rendimento seja aproveitado e contribua com a sustentabilidade do planeta. Por este motivo, realiza-se este projeto, a fim de torná-lo mais acessível à sociedade.

Metodologia

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica sobre os itens pertencentes ao assunto em apostilas, livros, sites da área, artigos e monografias, a fim de reunir informações relevantes ao tema. Depois de selecionados os conteúdos relevantes, foi desenvolvido um esquema de blocos do projeto, definido os componentes a serem utilizados. O esquema com os seus componentes, suas definições e principais características serão apresentadas no próximo tópico.

Com o esquema do projeto definido, desenvolveu-se o software de controle. Para a realização dos testes iniciais do software, confeccionou-se um protótipo, a fim de facilitar o desenvolvimento e ajustes necessários.

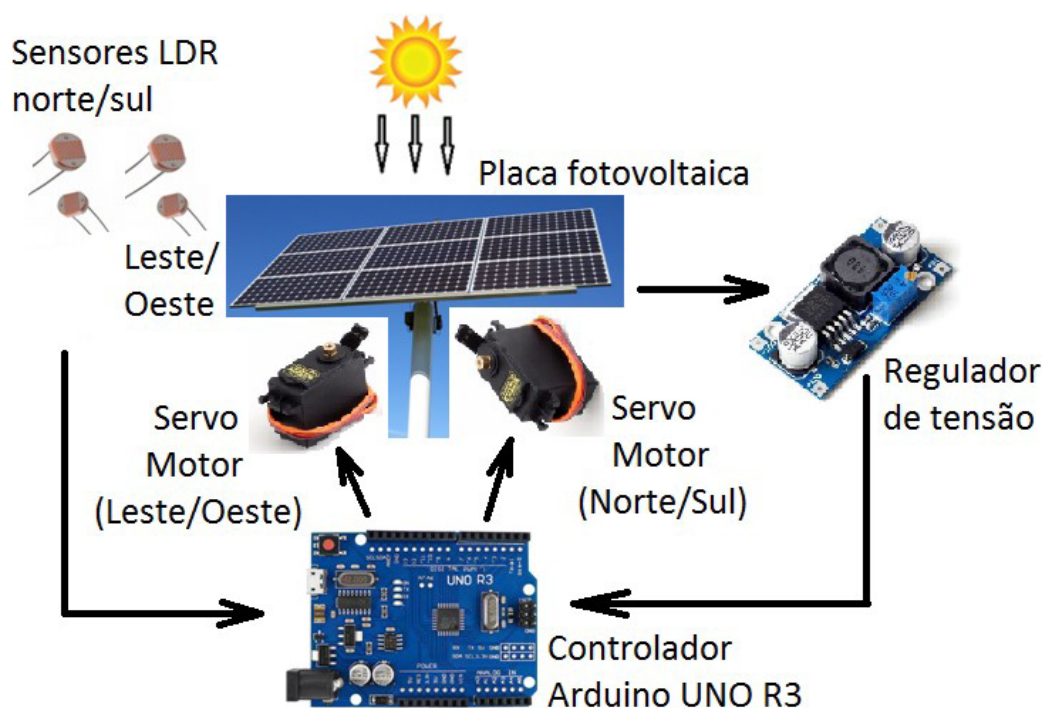
A seguir, iniciou-se o desenvolvimento do suporte articulado que será necessário para a movimentação da placa. Fez-se um desenho no programa Solidworks, software para modelamento CAD (Desenho Assistido por Computador). Com o desenho pronto, confeccionou-se o suporte.

Em sequência, foram montados todos os componentes do sistema no suporte, para fazer os testes e ajustes necessários. Por fim, foram analisados e discutidos os resultados do projeto.

Projeto

O projeto consiste em movimentar uma placa fotovoltaica, nos sentidos norte/sul e leste/oeste, através de dois servomotores. Estes servos serão controlados por um microcontrolador ATmega 328 (Arduino UNO R3). O controle é feito tratando quatro sinais analógicos provenientes de quatro sensores LDR (Resistor Dependente de Luz). Todo o sistema será alimentado por uma placa fotovoltaica, sendo sua tensão ajustada por um regulador de tensão. Na Figura 2, pode ser visualizado o esquema de blocos do projeto.

Figura 2. Esquema de blocos do projeto



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Descrição dos componentes

A seguir, serão definidas e apresentadas as principais características dos componentes do projeto.

Placa fotovoltaica

É o elemento que fornece energia ao sistema. Transforma os fótons de luz em corrente elétrica. A placa utilizada é o modelo LMS-SH-20W-18V-M, fabricada na China para Lenharo Mega Store. Seguem as suas principais características:

- Tipo da célula: Mono-Si.
- Potência máxima ($P_{\text{máx}}$): 20 W.
- Tensão em $P_{\text{máx}}$ (V_{mp}): 17,5 V.
- Corrente em $P_{\text{máx}}$ (I_{mp}): 1,14 A.
- Eficiência: 18 %.
- Tempo de vida útil aprox.: 25 anos.
- Tamanho: 446 x 360 x 25 mm.

A seguir pode ser visualizada a placa fotovoltaica utilizada no projeto.

Figura 3. Placa fotovoltaica



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

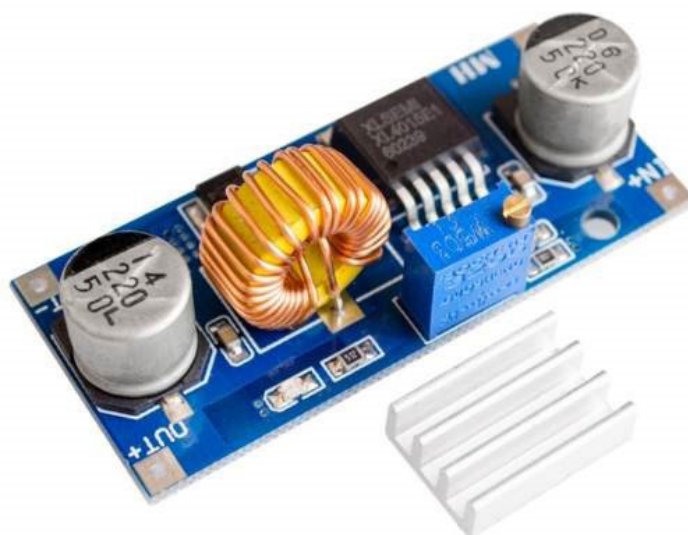
Regulador de tensão

É um circuito eletrônico que ajusta a tensão gerada pela placa fotovoltaica para uma tensão constante que alimentará os componentes do circuito. Para o projeto, será utilizado o Módulo Regulador de Tensão Step Down XL4015 5 A, com as seguintes características:

- Tensão de Entrada: 8-36V.
- Tensão de Saída: 1.25-32V ajustável.
- Corrente de Saída: 0-5A.
- Potência de Saída: 75W.
- Temperatura de Operação: -40 to +85 °C.
- Frequência de Operação: 180 KHz.
- Proteção contra curto-circuito: Sim (corrente máxima 8A).
- Dimensões: 54 x 23 x 15 mm.

Na Figura 4, pode ser visualizado o modelo do regulador utilizado.

Figura 4. Regulador de tensão 5 A



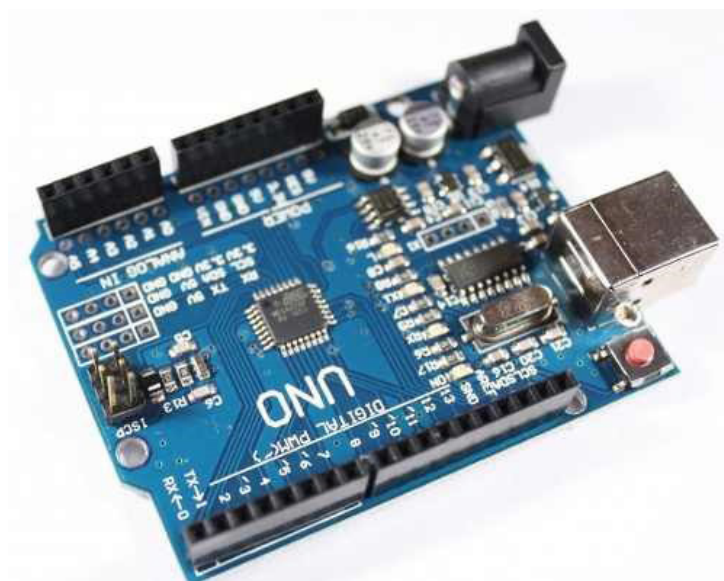
Fonte: Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-869739779-regulador-de-tenso-xl4015-conversor-dc-dc-step-down-arduino-_JM>. Acesso em: 27 maio 2017.

Controlador

Como controlador do sistema foi utilizado o Arduino UNO R3. O Arduino UNO é uma plataforma de desenvolvimento baseado no microcontrolador ATmega328. A seguir são descritas as suas principais características, e na Figura 5 pode ser visualizada a placa Arduino UNO R3.

- Microcontrolador: ATmega 328.
- Tensão de operação: 5 V.
- Tensão de entrada (recomendada): 7-12 V.
- Pinos de entrada/saída: 14 (dos quais 6 podem ser PWM).
- Pinos de entrada analógica: 6.
- Corrente DC por pino I/O: 40 mA.
- Corrente DC para pino 3,3v: 50 mA.
- Memória flash: 32 KB (dos quais 0,5 KB são usados pelo Bootloader).
- SRAM: 2KB – EEPROM: 1 KB.
- Velocidade do clock: 16 MHz.

Figura 5. Placa de Arduino UNO R3



Fonte: Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-760750150-arduino-uno-r3-rev3-atmega328-cabo-usb-mais-barato-do-ml-_JM> Acesso em: 27 maio 2017.

Sensores

Como sensores foram utilizados resistores dependentes de luz (LDR). São resistores que variam sua resistência com a variação da luz. Neste projeto foram utilizados modelos prontos, montados em uma placa com um resistor em série, formando um divisor resistivo. A placa pode ser visualizada na Figura 6 e as suas características são as seguintes:

- Vmax: 150V.
- Pmax: 100 mW.
- Temperatura de operação: -30 ~ +70 °C.
- Espectro de pico: 540 nm.
- Resistência na luz máxima: 45 ~ 140 Ω .
- Resistência na escuridão: ~10 M Ω .
- Tempo de resposta: 20 ms subida - 30 ms descida.
- Tamanho: 5 mm.
- Dimensões: largura: 10 mm e comprimento: 20 mm.

Figura 6. Sensor LDR



Fonte: Disponível em <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-733362801-modulo-sensor-de-luz-com-ldr-arduino-pic-e-raspberry-_JM>. Acesso em: 27 maio 2017.

Servomotores

São dispositivos que transformam a energia elétrica em energia mecânica, ou seja, em movimento. Neste projeto foram utilizados os servomotores MG995, que são constituídos por um motor de corrente contínua, uma placa de controle e uma caixa de redução. Podem ser visualizadas a seguir as suas características:

- Dimensão: 40 mm x 19 mm x 43 mm.
- Peso Líquido: 69 g.
- Peso da embalagem: 75 g.
- Velocidade de operação: 0,17seg/60graus (4,8 V sem carga).
- Velocidade de operação: 0,13seg/60graus (6,0 V sem carga).
- Stall Torque: 13 kg-cm (180,5 oz-in) em 4,8 V.
- Stall Torque: 15 kg-cm (208,3 oz-in) em 6 V.
- Tensão de operação: 4,8-7,2 volts.
- Tipo de arte: todas as engrenagens de metal.
- Fio conector: Heavy Duty, 11,81 "(300 mm).

A Figura 7, a seguir, mostra o servomotor utilizado no projeto.

Figura 7. Servomotor MG995

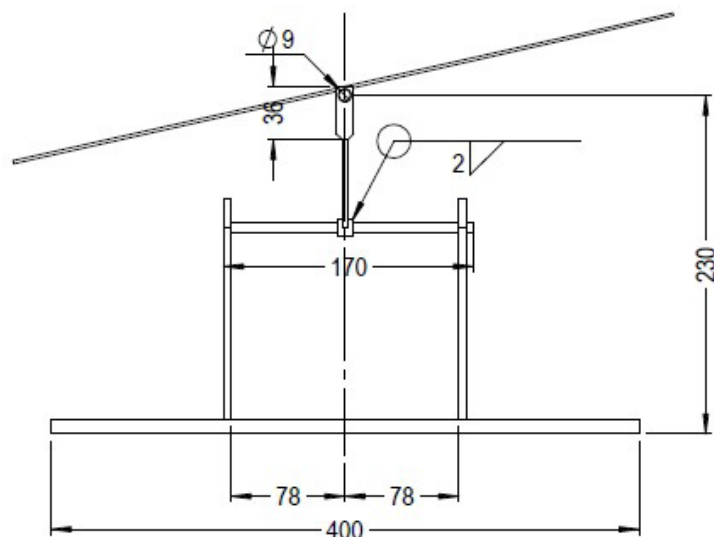


Fonte: Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-683575928-servo-mg-995-tower-pro-alto-torque-13kg-padrao-futaba-mg995-_JM>. Acesso em: 27 maio 2017.

Suporte da placa fotovoltaica

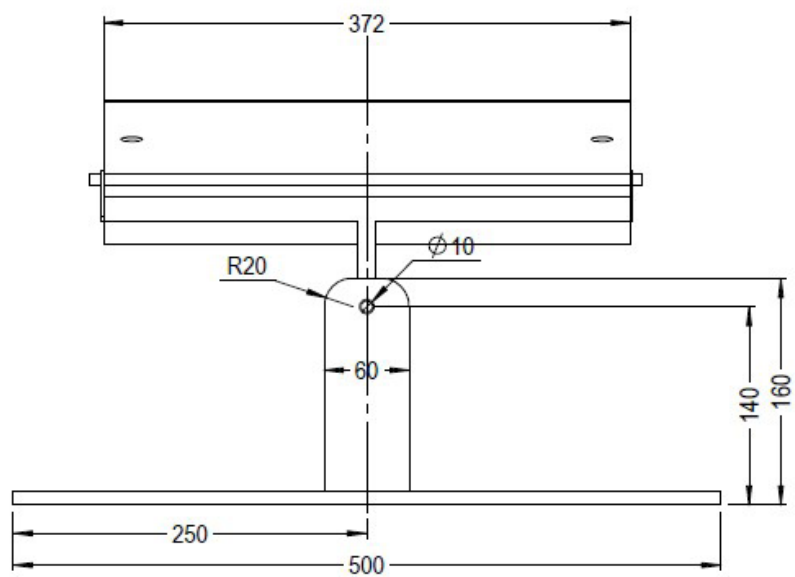
O suporte da placa necessária para o projeto difere dos suportes convencionais, pois precisa ser articulado para fazer as movimentações norte/sul e leste/oeste. Nas Figuras 8 a 12, podem ser visualizados os desenhos desenvolvidos em Solidworks deste suporte.

Figura 8. Desenho do suporte (vista lateral 1)



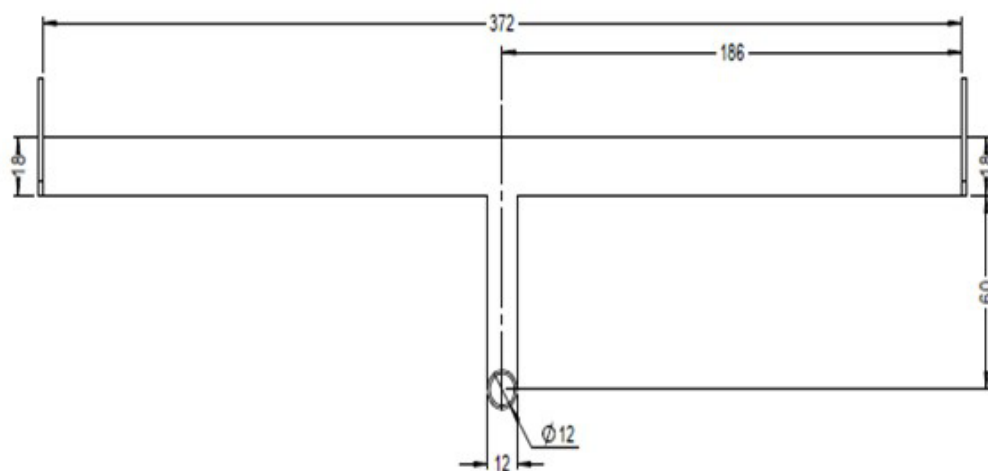
Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 9. Desenho do suporte (vista lateral 2)



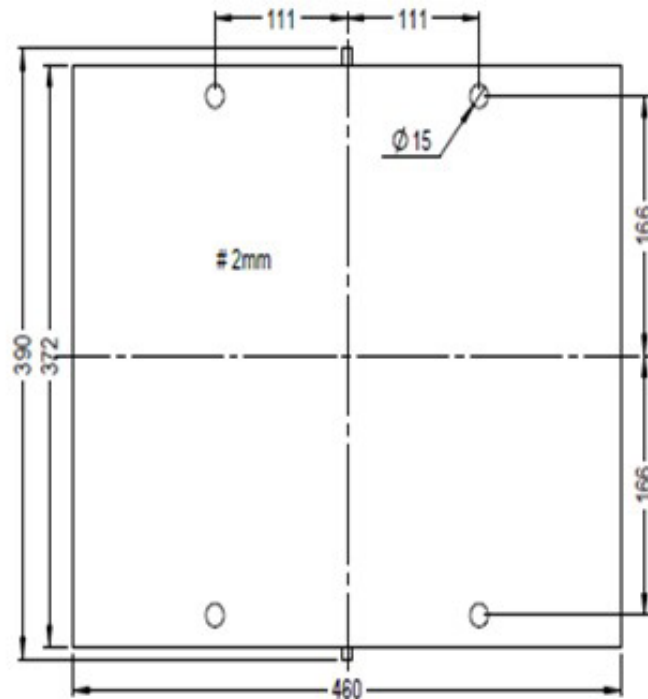
Fonte: Elaborada pelos autores (2017)

Figura 10. Desenho do suporte, parte superior (vista lateral 1)



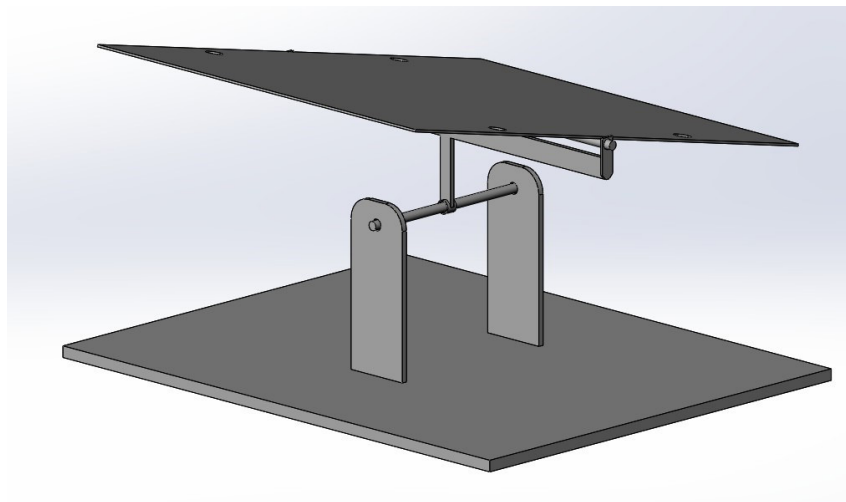
Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 11. Desenho do suporte (vista superior)



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

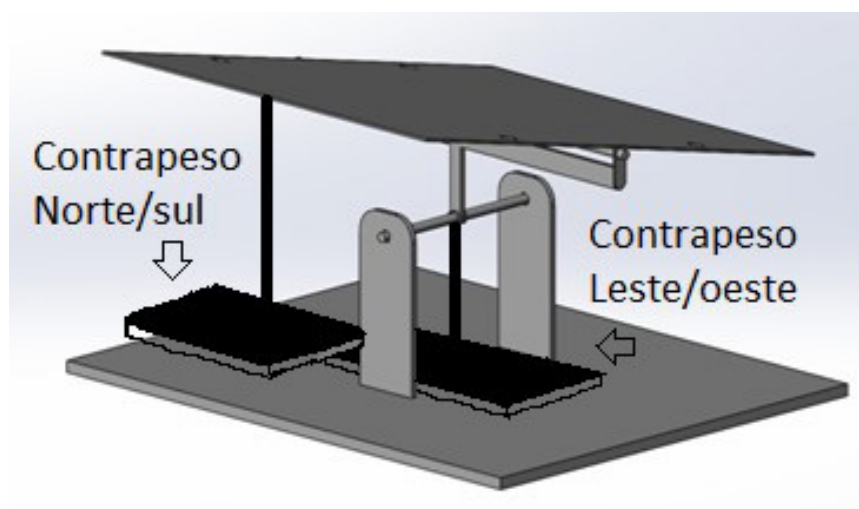
Figura 12. Desenho do suporte 3D, (ideia inicial)



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Durante os testes finais do sistema foi observado que o servomotor não tinha força para movimentar a placa quando esta pendia para os lados. Por este motivo, foram acrescentados dois contrapesos para anular o peso da placa nestas situações. Esta modificação pode ser visualizada na Figura 13.

Figura 13. Desenho do suporte final (3D)



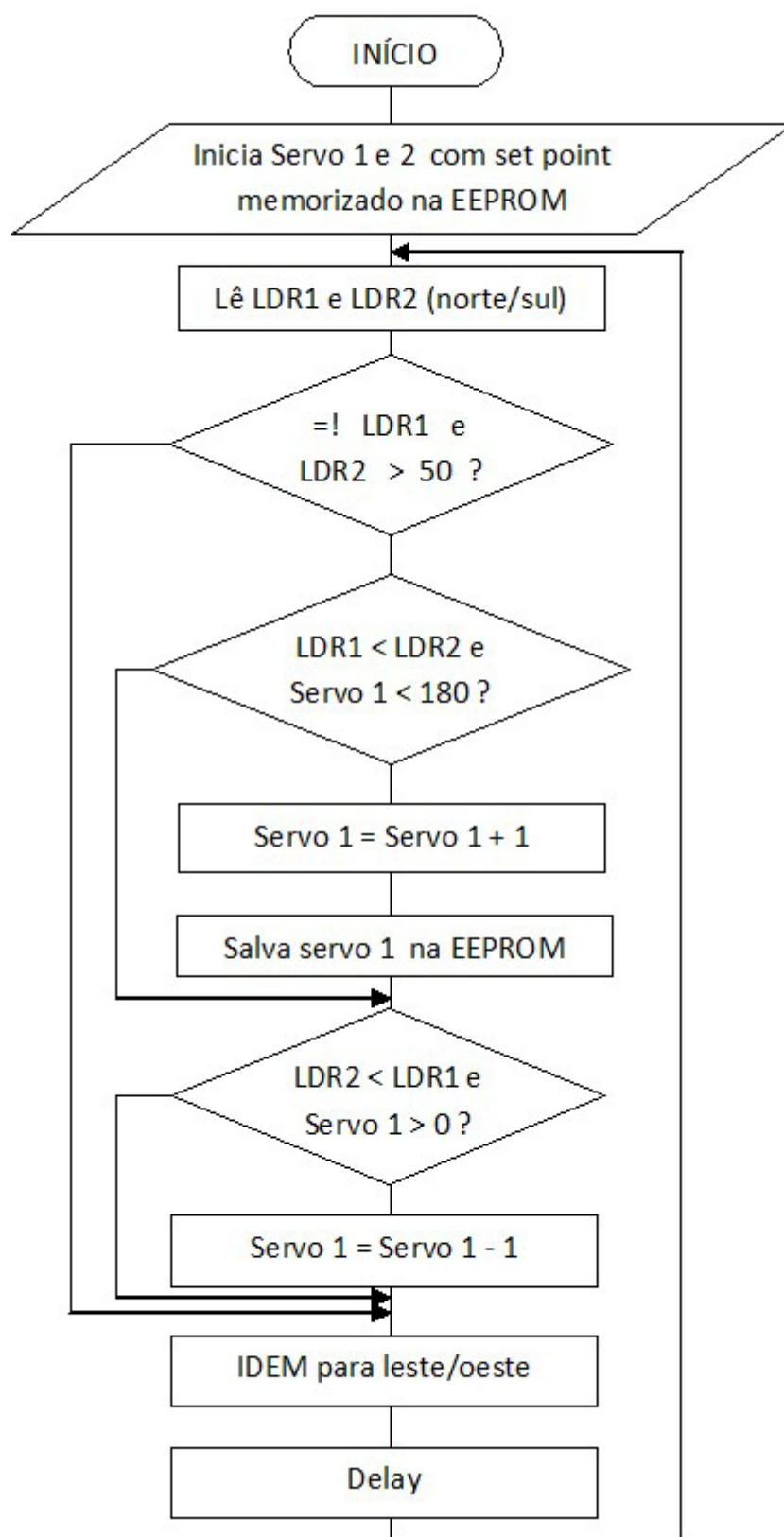
Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Funcionamento

O projeto consiste em dois sistemas idênticos, trabalhando de forma paralela, ou seja, dois sensores norte/sul controlam um motor e outros dois sensores leste/oeste controlam o outro motor. Assim, os sensores LDR1 e LDR2 (norte/sul) enviam ao microcontrolador um sinal analógico de acordo com a luminosidade de cada sensor. O microcontrolador, por sua vez, verifica se há uma diferença maior que cinquenta (histerese para evitar que a placa se movimente por uma variação muito pequena) entre os dois sinais. Se não houver, nenhuma ação é tomada, pois significa que a placa já está direcionada para a maior incidência de luz. Caso houver diferença, o controlador verifica se o sinal do sensor LDR1 é menor que o do LDR2 e se o valor do servo 1 é menor que 180° . O servomotor utilizado pode variar de 0° a 180° . Caso a primeira verificação não for atendida, o controlador passa para uma próxima verificação. Caso a segunda verificação não seja atendida, significa que o servo já está em seu limite-fim de curso superior e o motor não pode ser acionado. Entretanto, se as duas verificações forem atendidas, será incrementado uma unidade no valor do servo 1 e enviado sinal para o servo motor movimentar 1° positivo. Este novo valor de servo 1 será salvo na eeprom do próprio microcontrolador. Em seguida, será verificada a situação contrária, ou seja, se o sinal do sensor LDR2 é menor que o do LDR1 e se o servo 1 é maior que 0. Caso a primeira verificação não seja atendida, o controlador passa para uma próxima verificação. Caso a segunda verificação não seja atendida, significa que o servo já está em seu limite-fim de curso inferior e o motor não pode ser acionado. No entanto, se as duas verificações forem atendidas, será decrementado uma unidade no valor do servo 1 e enviado sinal para o servomotor movimentar 1° negativo. Novamente, este novo valor de servo 1 será salvo na eeprom do próprio microcontrolador.

Estas verificações são repetidas para os sensores LDR3 e LDR4 (leste/oeste) e o servomotor 2. Após as verificações, o controlador espera um tempo e depois volta a executar a mesma rotina novamente. Este tempo tem a finalidade de evitar que a placa se movimente por qualquer variação de luz. Na Figura 14, pode ser visualizado o fluxograma do programa de computador para melhor entendimento.

Figura 14. Fluxograma de funcionamento do sistema



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

A seguir, descreve-se o código-fonte desenvolvido no software do Arduino.

```
#include <Servo.h>
#include <EEPROM.h>
int addr = 0;
int addr_2 = 1;
Servo servo;
Servo servo_2;

int LDR1 = 0;
int LDR2 = 1;
int val_LDR1;
int val_LDR2;
int subtracao;
int subtracao2;

int LDR1_2 = 2;
int LDR2_2 = 3;
int val_LDR1_2;
int val_LDR2_2;
int subtracao_2;
int subtracao2_2;

int val;
int val_2;

void setup() {

    val = EEPROM.read(addr);
    val_2 = EEPROM.read(addr_2);

    servo.attach(9);
    servo_2.attach(10);

    servo.write(val);
    servo_2.write(val_2);
}

void loop() {
    val_LDR1 = analogRead(LDR1);
    val_LDR2 = analogRead(LDR2);
    val_LDR1_2 = analogRead(LDR1_2);
    val_LDR2_2 = analogRead(LDR2_2);

    subtracao = (val_LDR1 - val_LDR2);
    subtracao2 = (val_LDR2 - val_LDR1);
    subtracao_2 = (val_LDR1_2 - val_LDR2_2);
    subtracao2_2 = (val_LDR2_2 - val_LDR1_2);
```

```

if (subtracao > 30 or subtracao2 > 30) {
  if ( val_LDR1 < val_LDR2 ) {
    if ( val < 180){
      val = val + 1;
      EEPROM.write(addr, val);
      servo.write(val);
    }
    delay(200);
    val_LDR1 = analogRead(LDR1);
    val_LDR2 = analogRead(LDR2);
  }
  if ( val_LDR1 > val_LDR2) {
    if ( val > 0 ){
      val = val - 1;
      EEPROM.write(addr, val);
      servo.write(val);
    }
    delay(200);
    val_LDR1 = analogRead(LDR1);
    val_LDR2 = analogRead(LDR2);
  }
}
if (subtracao_2 > 30 or subtracao2_2 > 30) {
  if ( val_LDR1_2 < val_LDR2_2 ) {
    if ( val_2 < 180){
      val_2 = val_2 + 1;
      EEPROM.write(addr_2, val_2);
      servo_2.write(val_2);
    }
    delay(200);
    val_LDR1_2 = analogRead(LDR1_2);
    val_LDR2_2 = analogRead(LDR2_2);
  }
  if ( val_LDR1_2 > val_LDR2_2) {
    if ( val_2 > 0 ){
      val_2 = val_2 - 1;
      EEPROM.write(addr_2, val_2);
      servo_2.write(val_2);
    }
    delay(200);
    val_LDR1_2 = analogRead(LDR1_2);
    val_LDR2_2 = analogRead(LDR2_2);
  }
}
}
}
}

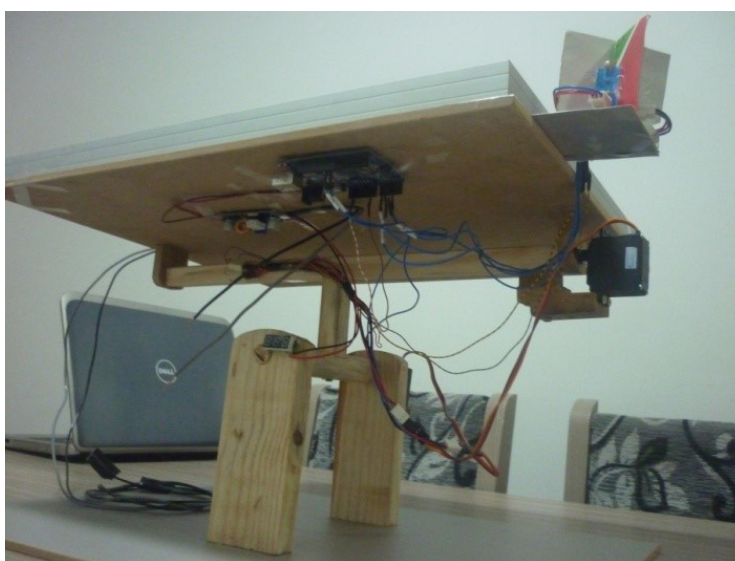
```

Resultados e discussões

Foi montado, inicialmente, um suporte de madeira, conforme mostram as Figuras 15 e 16 e, observou-se que os servomotores não possuíam força suficiente para movimentar a placa quando esta estivesse numa posição inclinada. Por este motivo, foram realizadas algumas modificações em um suporte de aço que já estava sendo confeccionado. Foram acrescentadas reduções com polias e correias nos dois motores, para aumentar a força destes. Também foram incluídos no suporte, dois contrapesos, como já mostrados na Figura 13.

Com a inserção das polias redutoras (2:1), perdeu-se metade do curso dos motores, que não gerou problema algum, pois, a placa ainda pôde ser movimentada de 0° a 90° , o que já é suficiente para seguir o movimento do sol. A inserção dos contrapesos eliminou por completo a força peso da placa quando esta era inclinada para um dos lados, aliviando a força sobre os servomotores.

Figura 15. Projeto montado em suporte de madeira



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Figura 16. Projeto montado em suporte de madeira



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Com o novo suporte, o projeto funcionou como esperado, fazendo os movimentos para posicionar-se sempre na direção de maior incidência de luz. O projeto finalizado pode ser visualizado na Figura 17

Figura 17. Projeto final montado em suporte de aço



Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Custos do projeto

Para a implementação do projeto, fez-se a aquisição e confecção (suporte) de todos os componentes necessários para o seu funcionamento. Na Tabela 3 podem ser visualizados os preços de cada item e o total dos custos.

Quadro 3. Tabela de custos do projeto

ITEM	Valor (R\$)
Placa fotovoltaica	200,00
Suporte metálico	180,00
Arduino Uno R3	46,80
Regulador de tensão	34,70
Sensor LDR (4 pçs)	47,50
Servo motor (2 pçs)	132,80
TOTAL	641,80

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Análise de viabilidade

Para avaliar a viabilidade financeira do projeto, levou-se em consideração a Tabela 3, custos do projeto, e a Tabela 4, comparativo entre dois sistemas geradores apresentados anteriormente nas Tabelas 1 e 2. Foram realizados alguns cálculos para estimar os ganhos financeiros com o novo sistema. Estes valores podem ser visualizados na Tabela 4. Da Tabela 3, deve-se levar em consideração que num sistema de maior potência o tamanho dos motores será maior e, conseqüentemente, os valores financeiros maiores também. No entanto, os ganhos estimados na Tabela 4 são muito maiores que os custos deste projeto, mesmo sem levar em consideração a inflação anual durante os 25 anos de vida útil do sistema. Assim, considera-se viável a implantação deste projeto.

Quadro 4. Tabela comparativa de sistemas geradores

ITEM	Valor		Unidade
Consumo mensal	160	250	kWh
Potência instalada	1500	2340	W
Custo mínimo	12750,00	14274,00	RS
Custo máximo	14700,00	17550,00	RS
Produção anual	1920	3000	kWh
Renda anual (x RS 0,48)	921,60	1440,00	RS
Renda total (25 anos sem inflação)	23040,00	36000,00	RS
Produção total (com + 20%)	2304	3600	kWh
Renda total (com + 20%)	27648,00	43200,00	RS
Ganho (com + 20%)	4608,00	7200,00	RS

Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

Analisando-se pela questão da sustentabilidade, o projeto torna-se viável, pois, com o aumento do rendimento, reduz-se o número de placas a serem instaladas e, conseqüentemente, reduz-se a área ocupada por elas. Economiza-se em placas a serem instaladas e, assim, recursos naturais. Ou, ainda, gera-se mais energia com a mesma potência instalada (mesma quantidade de placas).

Considerações finais

O interesse pelos sistemas de geração de energia solar fotovoltaica vem aumentando gradativamente, porém, ainda não o suficiente para baixar o seu custo. Este é um dos motivos pelos quais a sua utilização não é realizada em larga escala. Outro motivo é o baixo rendimento das placas fotovoltaicas, que é o foco deste trabalho. Observou-se uma boa oportunidade de melhorar o rendimento das placas, fazendo-as se deslocarem em direção da maior incidência de luz. Constatou-se, ainda, que esta tecnologia já existe em diversos locais, principalmente em projetos de universidades, onde ela foi desenvolvida de várias maneiras, porém, trata-se ainda de tecnologia não disponível à sociedade.

Com o desenvolvimento deste projeto, agregou-se bastante conhecimento sobre o assunto, possibilitando que mais pessoas tenham acesso a este tema. Consequentemente, se mais pessoas começarem a utilizá-la nas instalações, ela também se tornará mais acessível economicamente. Espera-se, com este aumento de rendimento das placas fotovoltaicas, conseguir influenciar na sustentabilidade do planeta, pois toda melhoria de rendimento, de certa forma, economiza recursos naturais. Assim, quanto mais este projeto for divulgado e implementado, melhor será para o planeta.

Projetos futuros

Posteriormente, o projeto poderá ser ajustado facilmente para movimentar placas de maior potência (acima de 20 W), sejam estas de um sistema autônomo, conectado à rede ou a sistemas híbridos. Recomenda-se, ainda, fazer um comparativo de rendimento desse sistema com um sistema convencional, a fim de comprovar o aumento do rendimento, fortalecendo a ideia. Uma usina com esse sistema poderia ser projetada na FAVINCI, em Timbó/SC, com o intuito de acompanhar o seu funcionamento, fazer possíveis melhorias e auxiliar na sua divulgação.

Referências

ARDUINO. **Software**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>>. Acesso em: 3 abr. 2017.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Casa Solar Eficiente**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=casa_solar>. Acesso em: 20 maio 2017.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2012. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf>. Acesso em: 22 maio 2017.

GIANINI, Paula Cristina Casagrande. **O movimento do Sol: equinócio e solstício**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.ghct.usp.br/server/Sites-HF/Paula/sun1.html>>. Acesso em: 6 abr. 2017.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012.

PALZ, Wolfgang. **Energia solar e fontes alternativas**. 2. ed. São Paulo: Hemus, 1981.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2017.

PORTAL ENERGIA, ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Painéis solares acompanham Sol sem uso de motores usando liga bimetálica**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/paineis-solares-acompanham-sol-sem-uso-de-motores-usando-liga-bimetalica/>>. Acesso em: 5 abr. 2017.

PORTAL SOLAR. **Simulador Solar**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>>. Acesso em: 6 abr. 2017.

ROCHA, Ana Paula. **Sistema de captação de energia solar se movimenta conforme posição do sol**. 2010. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/sistema-de-captacao-de-energia-solar-se-movimenta-conforme-posicao-169322-1.aspx>>. Acesso em: 5 abr. 2017.

TESSARO, Alcione Rodrigo. **Desempenho de um painel fotovoltaico acoplado a um rastreador solar**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v1/046.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2017.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2012.

Artigo recebido em 30/05/17. Aceito em 10/07/17.